



Wachstumsbranche Luftverkehr: Treibstoffe für nachhaltiges Fliegen

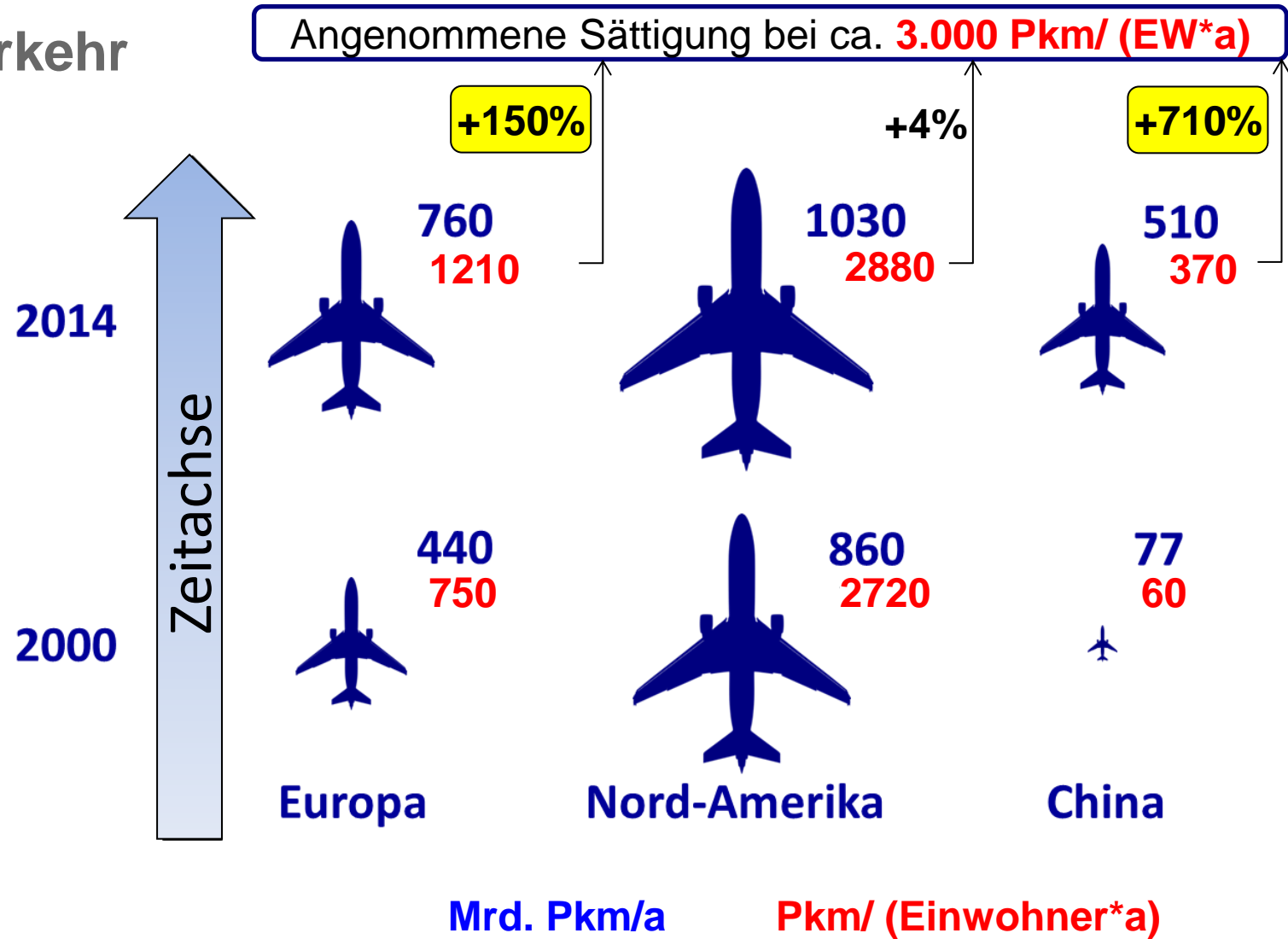
Stefan Estelmann, Friedemann Albrecht, Ralph-Uwe Dietrich

Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR)
Institut für Technische Thermodynamik
Technologie Forum
Neue flüssige Energieträger
08.11.2017



Wissen für Morgen

1. Wachstumsbranche Luftverkehr



Quelle: Thess et al., DGLR-Mitgliedermagazin „Luft- und Raumfahrt“ Ausgabe 2/2016, S.20 ff.

1. IATA Technology Roadmap

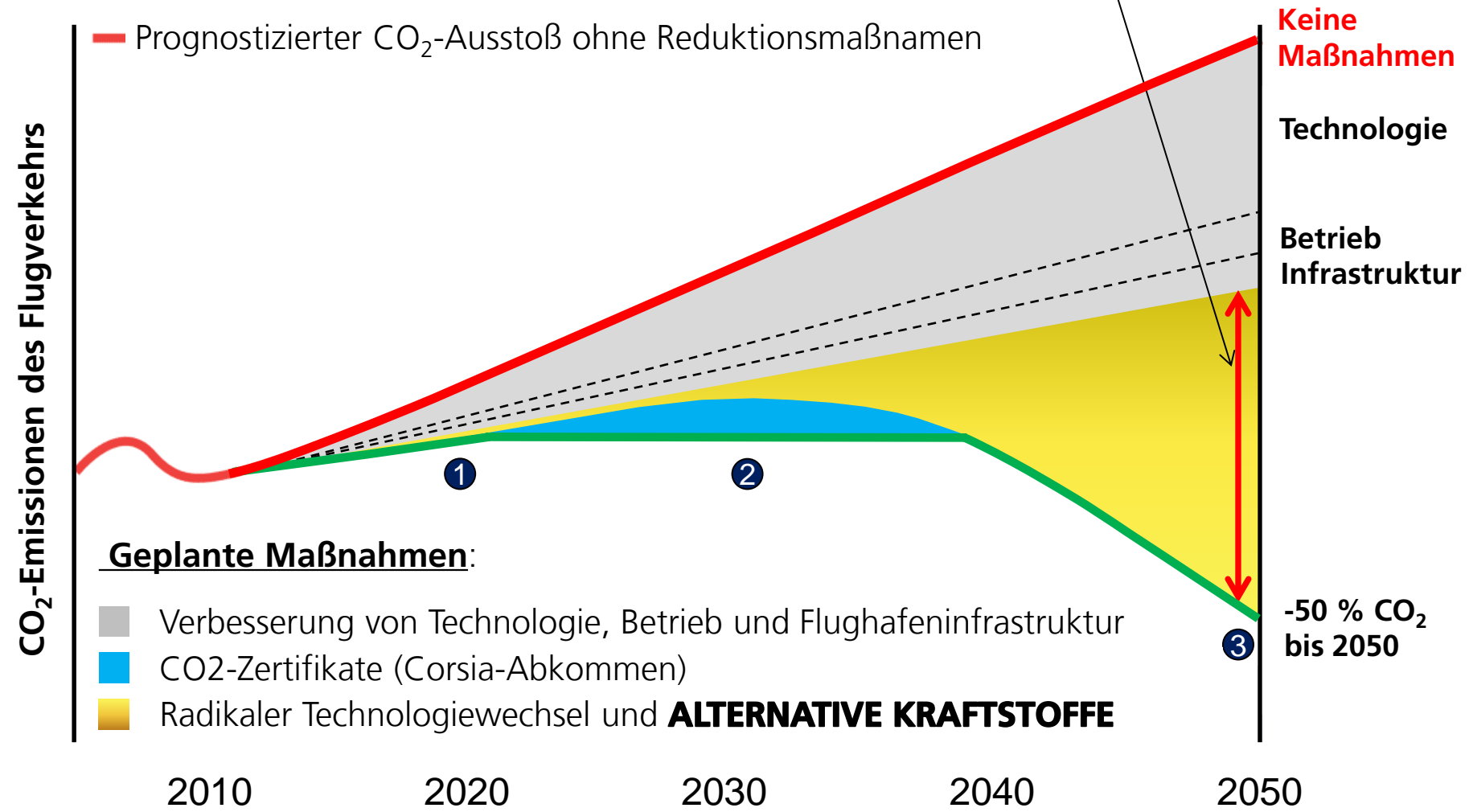
4. Edition, Juni 2013

Hauptziele:

- 1 Verbesserung der Brennstoffeffizienz um 1,5 % p.a. bis 2020
- 2 CO₂-neutrales Wachstum des Luftverkehrs ab 2020
- 3 Reduktion der CO₂-Emissionen um 50 % bis 2050 ggü. 2005

(optimistische) Annahme für 2050: Biokraftstoff 100% CO₂-„neutral“

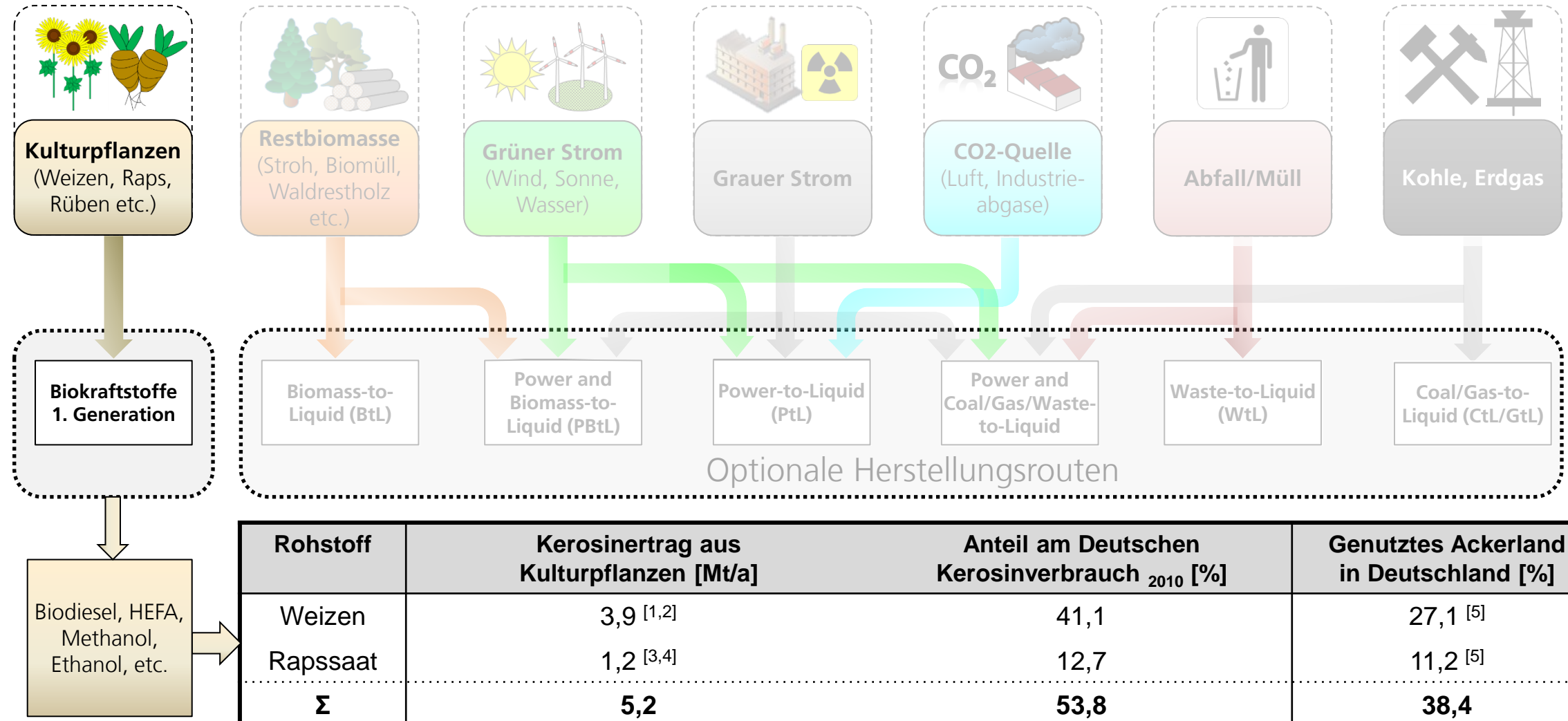
Kerosinbedarf ≈ heutiger Verbrauch (≈ 10 Mt Kerosin)



Quelle: iata.org

2. Herstellungsoptionen für alternatives Kerosin

- Geringes Rohstoffpotential



[1] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, „Steckbrief Ethanol-Kraftstoff“, 2016

[2] NREL, „Review of Biojet Fuel Conversion Technologies“, Golden, 2016

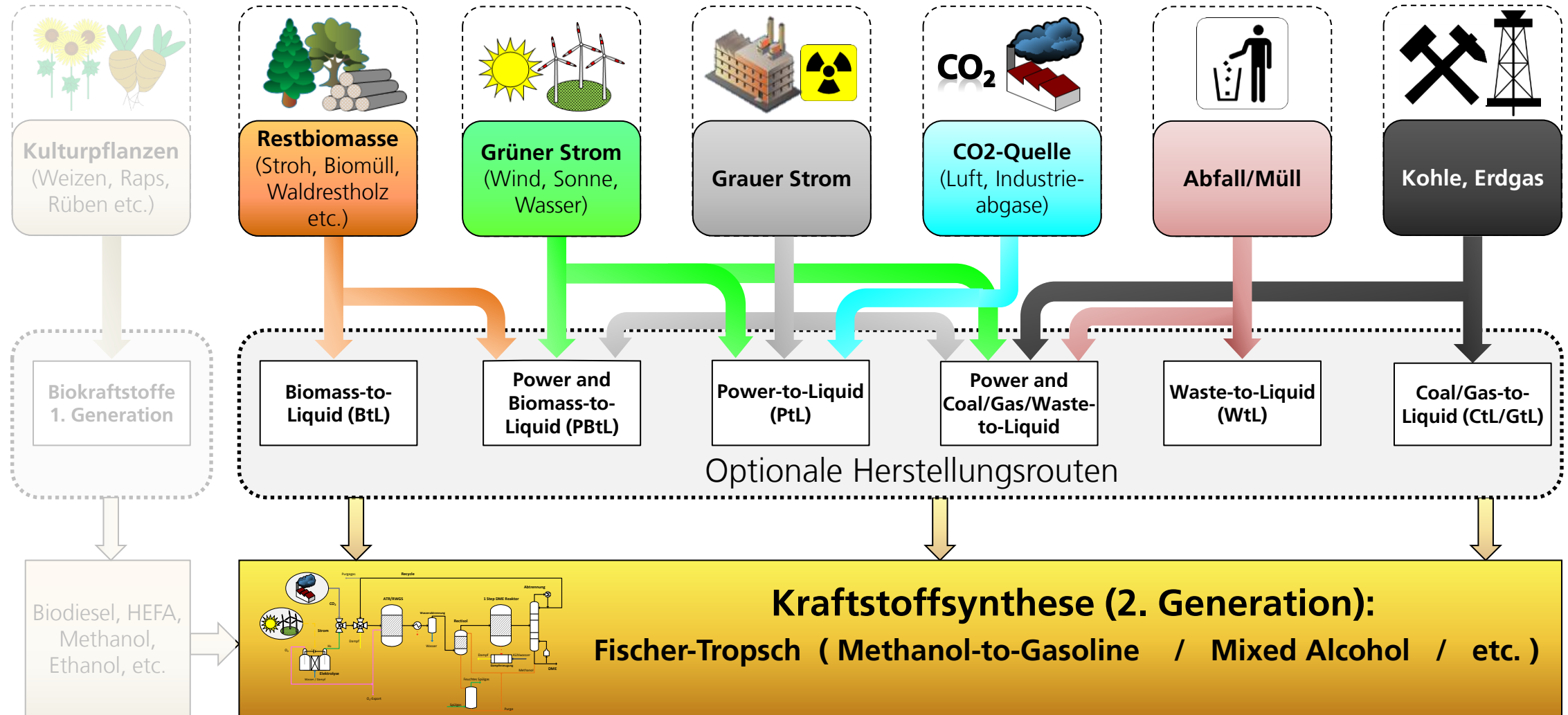
[3] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, „Ernte 2014: Mengen und Preise“, 2014

[4] DBFZ, „Abschlussbericht Projekt BurnFAIR“, 2014

[5] Destatis, Zahlen & Fakten, Landwirtschaftlich genutzte Fläche, 2016

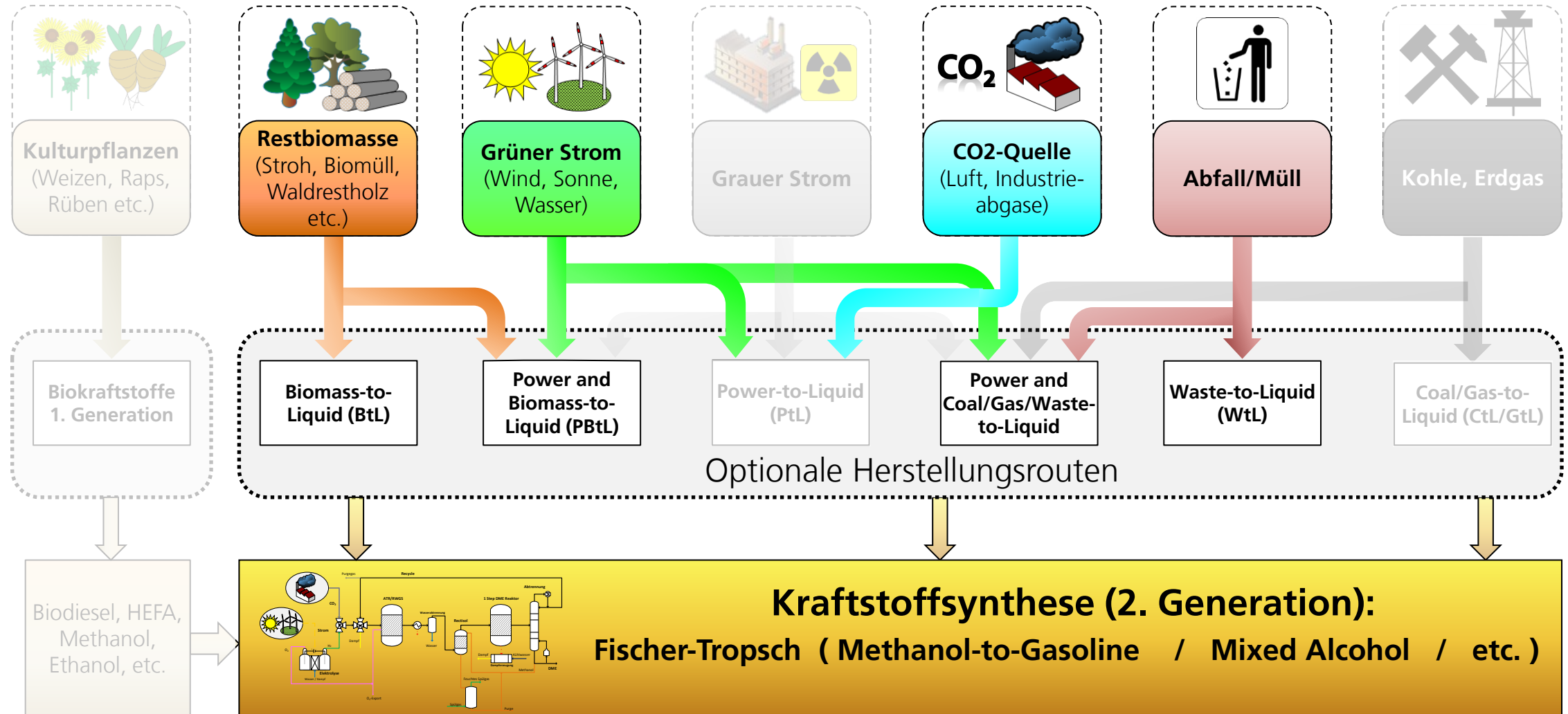


2. Herstellungsoptionen für alternatives Kerosin

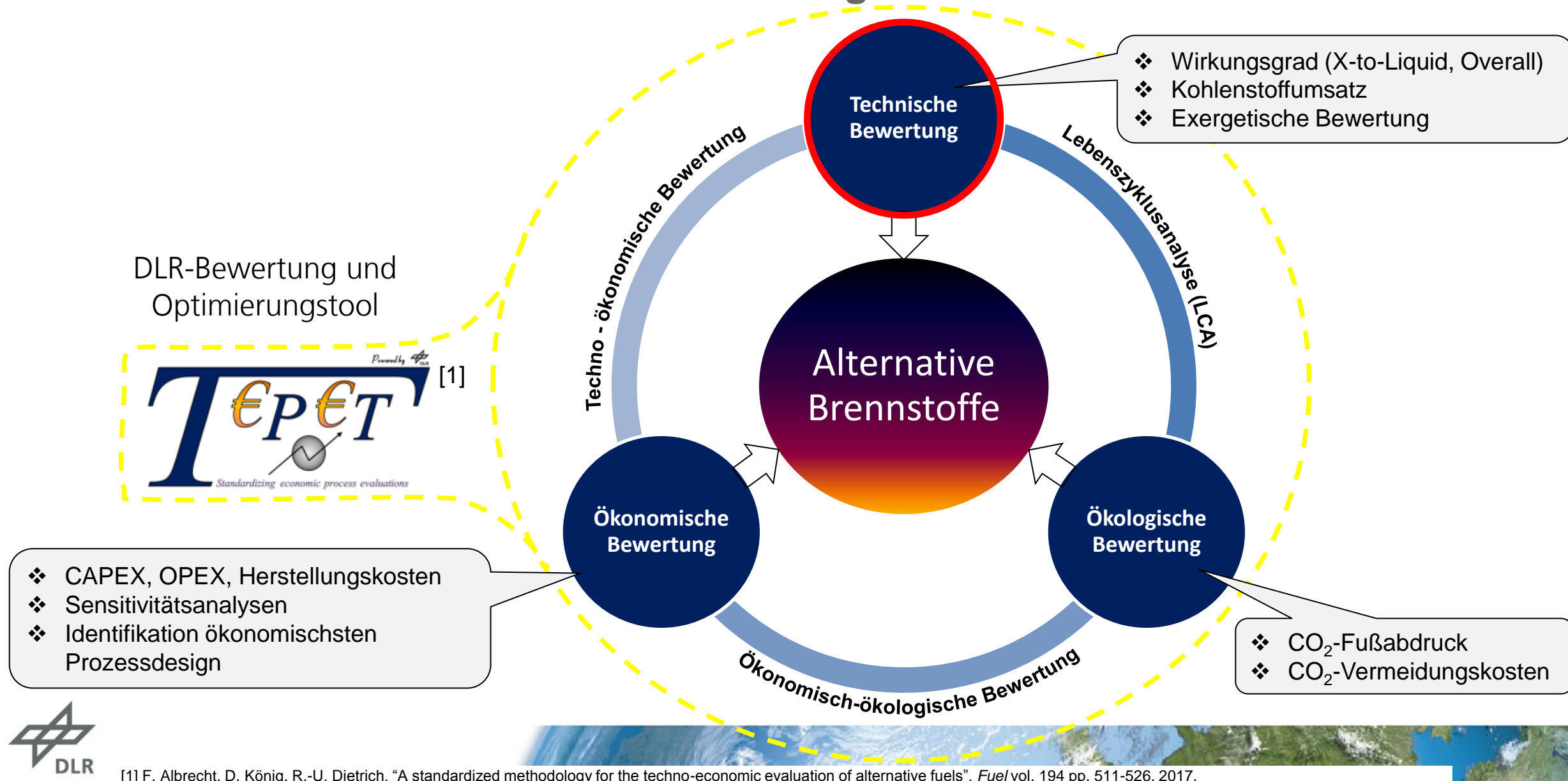


2. Herstellungsoptionen für alternatives Kerosin

- Zu großer CO₂-Fußabdruck



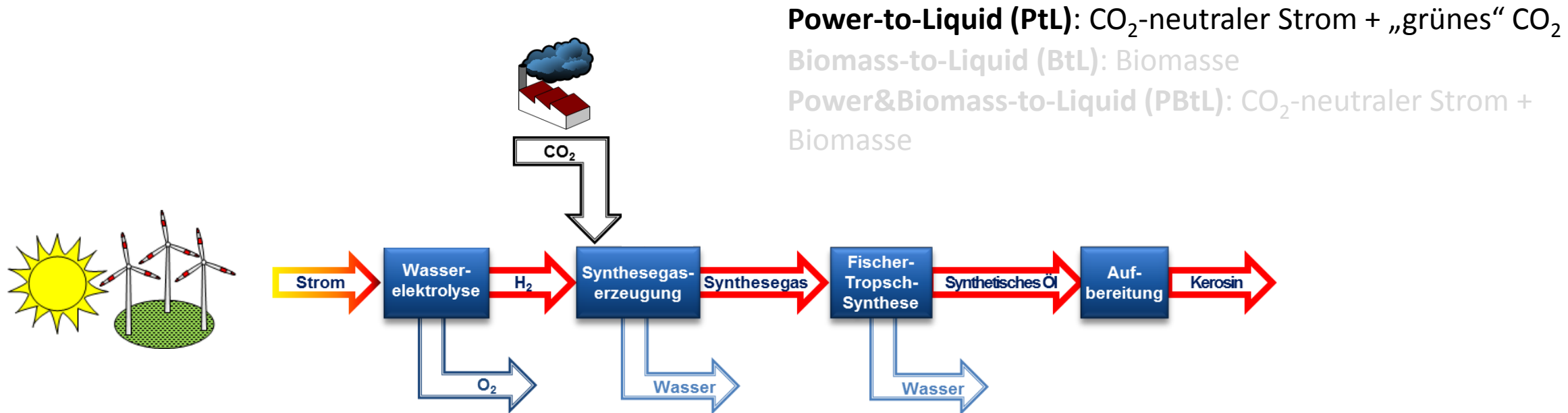
3. Techno-ökonomische Prozessbewertung



Beispiel: Verfahrensoptionen für nachhaltiges FT-Kerosin

Rohstoffe:

- CO₂-neutraler Strom: Wind, PV, Solarkraftwerke
- „grünes“ CO₂: Abscheidung aus Luft / „graues“ CO₂: Industrie
- Wasser



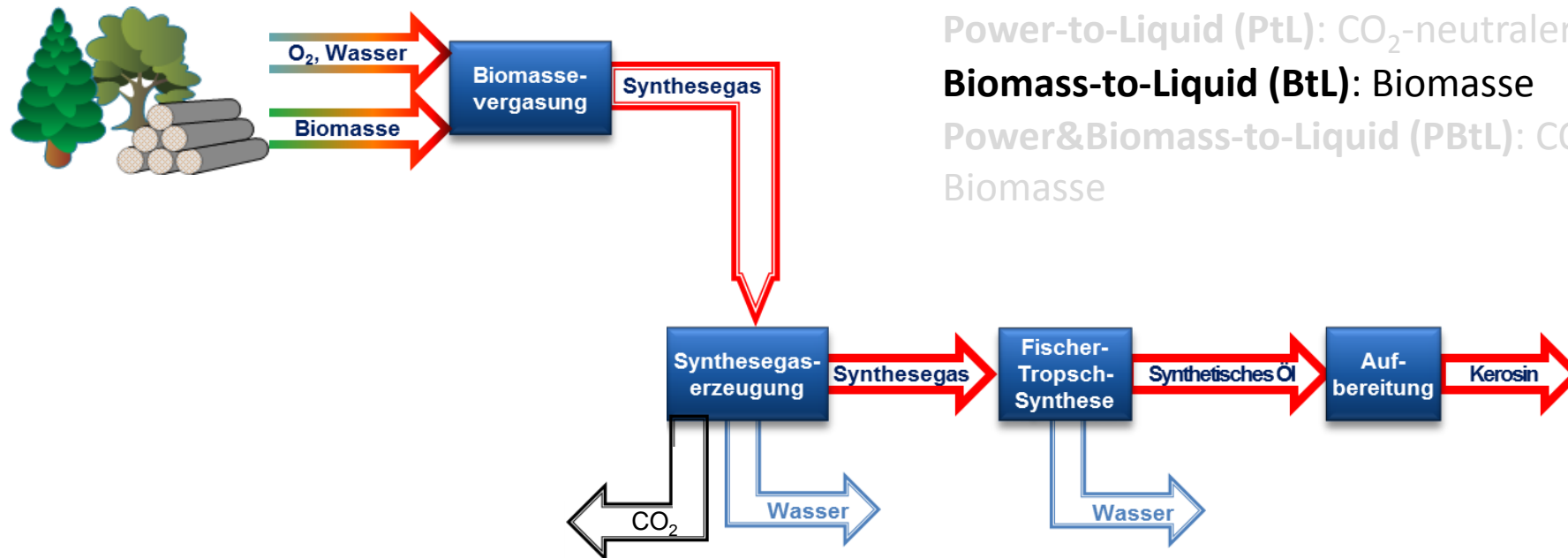
Synthese basierend auf bewährter fossiler Produktionstechniken und ist im Industriellenmaßstab kommerziell verfügbar:

- Secunda CTL (Sasol): 160.000 bpd (ca. 7 Mio.t/a)
- Pearl GTL (Qatar Petroleum + Shell): 140.000 bpd (ca. 6 Mio.t/a) – seit 2011

Beispiel: Verfahrensoptionen für nachhaltiges FT-Kerosin

Rohstoffe:

- „grünes“ CO₂: Biomasse
- Wasser



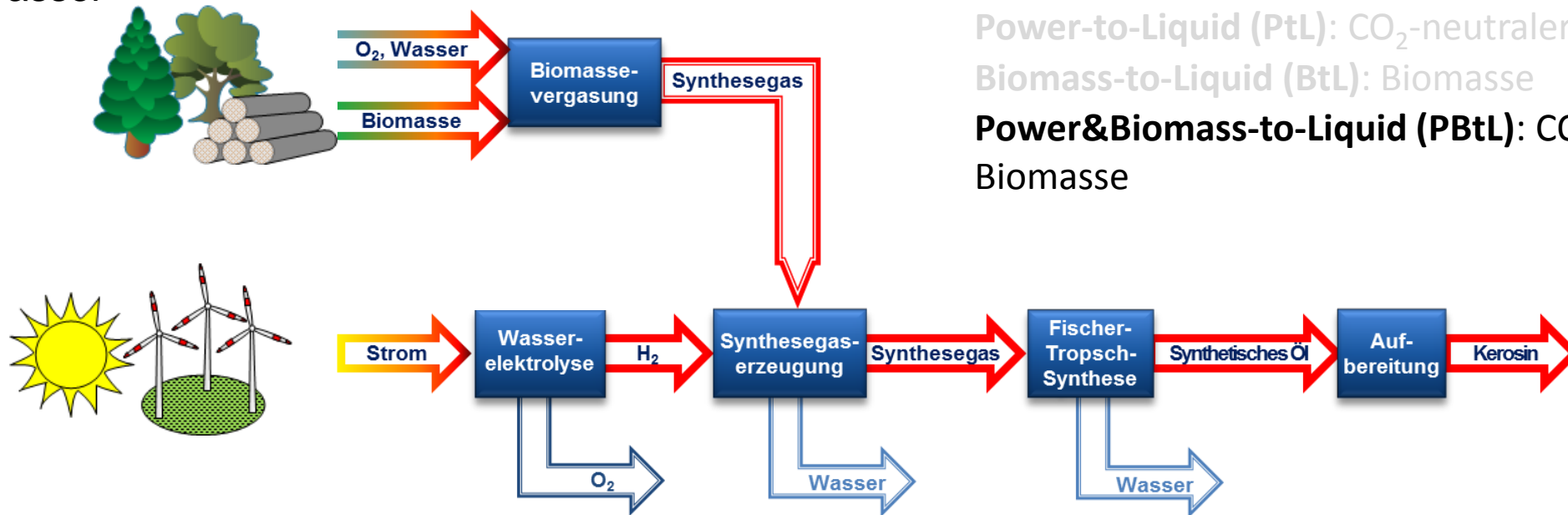
Synthese basierend auf bewährter fossiler Produktionstechniken und ist im Industriellenmaßstab kommerziell verfügbar:

- Secunda CTL (Sasol): 160.000 bpd (ca. 7 Mio.t/a)
- Pearl GTL (Qatar Petroleum + Shell): 140.000 bpd (ca. 6 Mio.t/a) – seit 2011

Beispiel: Verfahrensoptionen für nachhaltiges FT-Kerosin

Rohstoffe:

- CO₂-neutraler Strom: Wind, PV, Solarkraftwerke
- „grünes“ CO₂: Biomasse
- Wasser



Power-to-Liquid (PtL): CO₂-neutraler Strom + „grünes“ CO₂

Biomass-to-Liquid (BtL): Biomasse

Power&Biomass-to-Liquid (PBtL): CO₂-neutraler Strom + Biomasse

Synthese basierend auf bewährter fossiler Produktionstechniken und ist im Industriellenmaßstab kommerziell verfügbar:

- Secunda CTL (Sasol): 160.000 bpd (ca. 7 Mio.t/a)
- Pearl GTL (Qatar Petroleum + Shell): 140.000 bpd (ca. 6 Mio.t/a) – seit 2011



3. Potenziale für einen nachhaltigen Flugverkehr

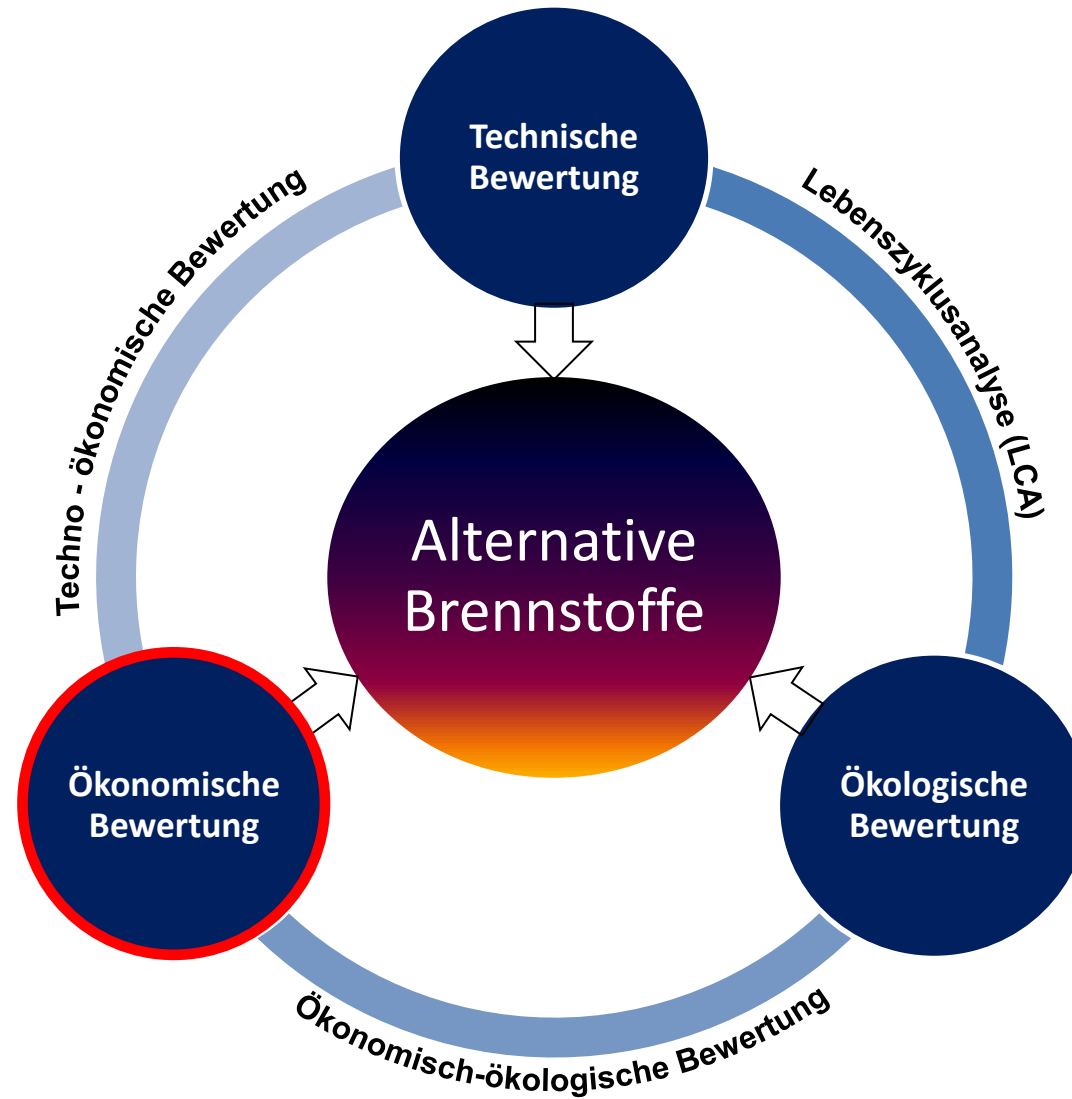
Prozessparameter	BTL	PBTL	PTL
Wirkungsgrad η_{XTL} / %	36,3	51,4	50,6
Kohlenstoff-Umsatz η_{C} / %	24,9	97,7	98,0

Potential für Deutschland? – Kerosin aus erneuerbaren Energien

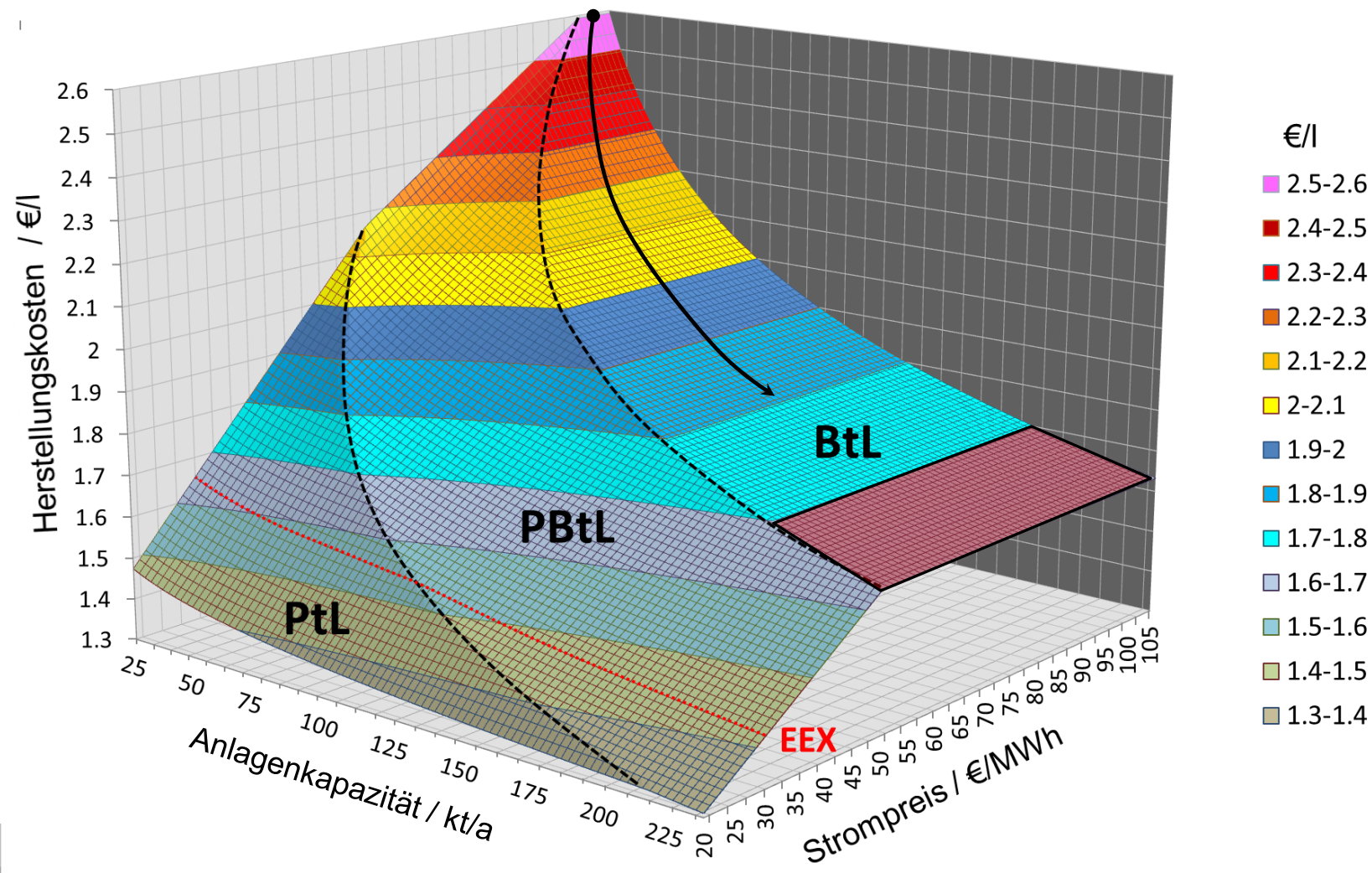
- Kerosinverbrauch in 2010 \approx **9,6 Mt/a**^[1]
- Strombedarf für strombasiertes Kerosin \approx **230 TWh** (PTL)
- Deutsches nutzbares Windenergiepotenzial^[2]:
bis zu **2.900 TWh** \approx 25-fache des Kerosinbedarfs
- Biomassebedarf für biogenes Kerosin \approx **319 TWh** (BTL)
- Deutsches nutzbares Biomassepotenzial^[3]:
90 – 430 TWh \approx 0,3 bis 1,3-fache des Kerosinbedarfs



3. Techno-ökonomische Prozessbewertung



Sensitivitätsanalyse der Prozessrouten



- Randbedingungen & Variablen sind entscheidende Einflussgrößen für die Produktionskosten

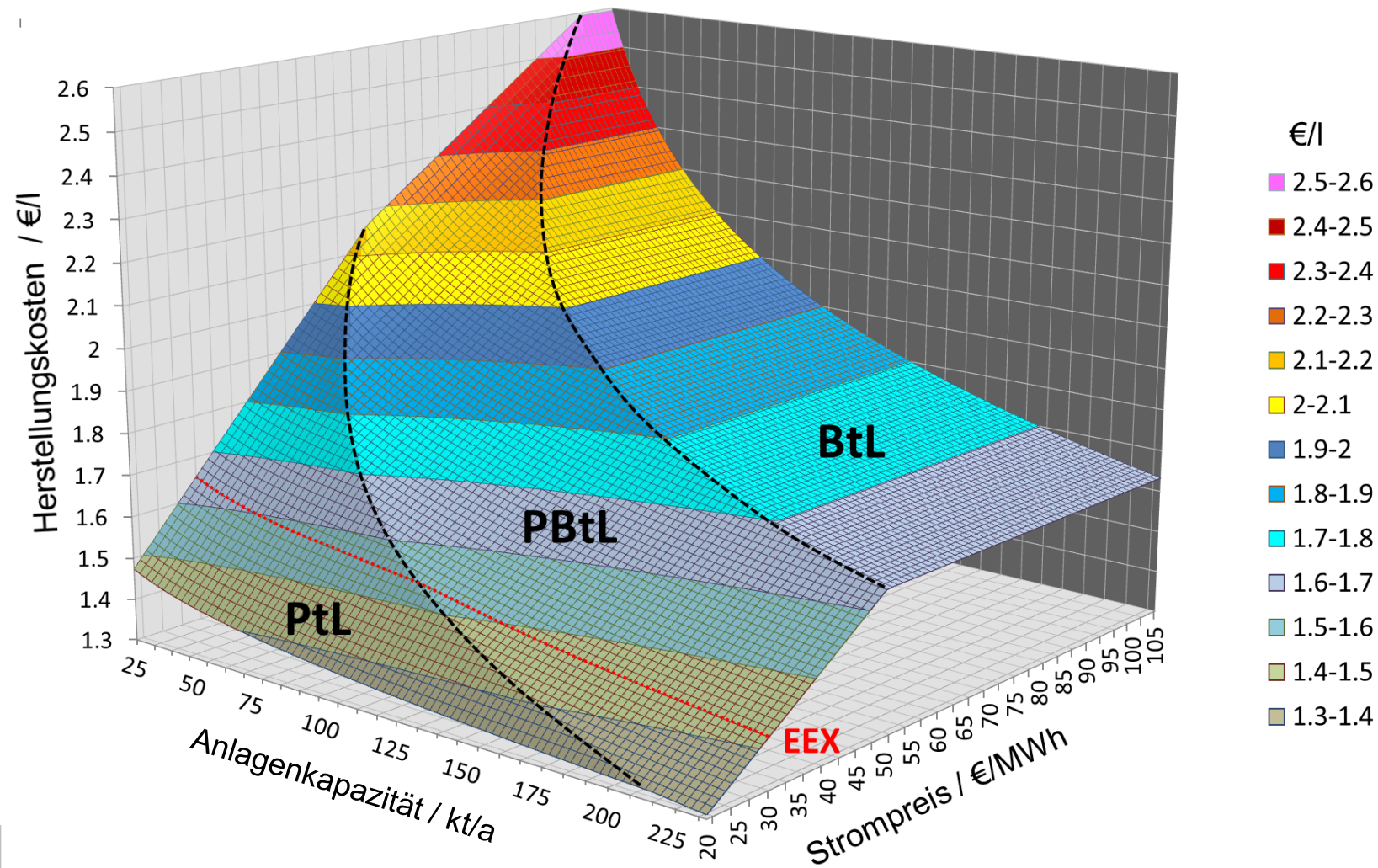
- Standort
- Volllaststunden
- Rohstoffkosten
- Etc.

- Einfluss der Economy of Scale

BtL-Prozess:

- Begrenzung der Anlagenkapazität durch das Biomasseeinzugsgebiet
- Ökonomisch sinnvoll bei hohen Strompreisen und Großanlagen

Sensitivitätsanalyse der Prozessrouten



PBtL-Prozess

- 3 bis 4-fache Kraftstoffausbeute bei gleichem Biomassebezug zu BtL
- Einsatz bei mittlerem Strompreis
- Ökonomisch reizvolles Konzept (vereint Vorteile von BtL & PtL)

PtL

- Großes Rohstoffpotenzial (Strom) und Möglichkeit zum Aufbau von Großanlagen
- Ökonomisch vorteilhaft bei niedrigen Strompreisen



Zusammenfassung

- Erneuerbares Kerosin ist in Zukunft zur Erreichung der deutschen THG-Minderungsziele, COP 21 und der IATA Ziele erforderlich
- Deutschland kann für alternative Kraftstoffe **erneuerbaren Strom** und (begrenzt) Biomassereste nutzen, die Produktion aus landwirtschaftlichem Anbau wird beschränkt (Renewable Energy Directive II)
- Aussichtsreiche Produktionstechnologien (Potenzial & wirtschaftliche Aspekte) sind langfristig PBtL- und PtL-Prozesse
- Strombasiertes Kerosin ist (derzeit) deutlich teurer als fossiles, nur staatliche Anreizprogramme und Mindestquoten können ihre Markteinführung ermöglichen

Outlook

- Weitere Technologieentwicklung und der Aufbau von Pilotanlagen ist jetzt erforderlich



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Stefan Estelmann
Fachgebiet Alternative Brennstoffe
Institut für Technische Thermodynamik

stefan.estelmann@dlr.de

Tel.: 0711 / 6862-789



Wissen für Morgen

